Aus der Chirurgischen Klinik der Universität Rostock
Direktor: Geheimrat Prof. Dr. W. Müller.

Vergleichende iontometrische Röntgenstrahlenmessungen zwischen Iontoquantimeter nach Wintz und Martius-Ionimeter, zugleich ein Beitrag zur Standarddosimetrie in R-Einheiten.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

einer

Hohen Medizinischen Fakultät der Universität zu Rostock

vorgelegt von

Karl Janssen

aus Bremen

1934

Buchdruckerei Thiele, Gütersloh/Westfalen

Aus der Chirurgischen Klinik der Universität Rostock
Direktor: Geheimrat Prof. Dr. W. Müller.

Vergleichende iontometrische Röntgenstrahlenmessungen zwischen Iontoquantimeter nach Wintz und Martius-Ionimeter, zugleich ein Beitrag zur Standarddosimetrie in R-Einheiten.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

einer

Hohen Medizinischen Fakultät der Universität zu Rostock

vorgelegt von

Karl Janssen
aus Bremen

1934

Buchdruckerei Thiele, Gütersloh/Westfalen

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät zu Rostock.

Referent: Herr Prof. Dr. Lehmann.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552717_0151

Als im Jahre 1895 der deutsche Physiker Wilhelm Conrad Röntgen die nach ihm benannten Strahlen entdeckte, da ahnte man noch nichts von ihrer Wirkung auf das lebende Gewebe. So wurden denn die neuen X-Strahlen, wie sie damals genannt wurden, in der Medizin nur zu diagnostischen Zwecken verwandt. Bald fiel es jedoch auf, daß gelegentlich nach längeren Durchleuchtungen Haarausfall an den untersuchten Körperstellen eintrat, was nur auf die Einwirkung der X-Strahlen zurückzuführen war. Diese Tatsache veranlaßte Freund in Wien, die Röntgen-Strahlen als ein neues Heilmittel in der Medizin, besonders die Dermatologie einzuführen: ihn darf man daher den Begründer der Röntgen-Therapie nennen.

Man hatte nun zwar ein neues Heilmittel, aber man wußte nicht, in welcher Dosis man es verabreichen und wie man diese bestimmen konnte. Es war also unbedingt erforderlich, ein Mittel ausfindig zu machen, das die applicierte Strahlen-Energie zuverlässig anzeigte.

Bereits 1896 war von Schöps eine Messung der Röntgenstrahlen mit dem Flächenbolometer ausgeführt worden, und 1897 berichtet Dorn über die Energiemessung mittels Luft-Thermometer. Diese Meß-Methoden waren jedoch nur für ein physikalisches Laboratorium geeignet. So wurde die Frage nach einem für den Praktiker geeigneten Dosimeter immer brennender. Da war es Holzknecht, dem es gelang, von 1901 auf 1902 sein Radiochrometer [1]) zu konstruieren, das erste Meßgerät, welches brauchbare Angaben über die verabreichte Dosis machte. Während die ersten Lieferungen des Radiometers ziemlich zuverlässig waren, schwankte später die Empfindlichkeit erheblich. Da es nicht mehr gelang, diesen Fehler zu beseitigen, mußte die Fabrikation eingestellt werden.

Inzwischen hatten die Franzosen Sabouraud und Noiré 1904 ein neues Meßverfahren ausgearbeitet, zu welchem Holzknecht eine Vergleichsskala schuf; dieses Radiometer ist auch heute noch sehr verbreitet. Nun kam fast jedes Jahr ein neues Meßgerät in den Handel. Von Precht waren bereits 1899 quantitative Messungen mit photographischer Emulsion durchgeführt worden, doch erst 1905 baute Kienböck die Reaktion in Gestalt seines Quantimeters zu einem brauchbaren Verfahren aus, welches er 1906 noch verbesserte. Es wird auch heute noch vielfach verwandt. Ebenfalls 1905 führte Wien Messungen mit Hilfe der Thermosäule aus; aber zur praktischen Verwendung war diese Methode nicht geeignet. Das Jahr 1906 brachte eine ganze Zahl von neuen Dosimetern; so das Radiometer von Bumstead, auf der Wärmewirkung der Röntgenstrahlen beruhend; das Kalomel-Radiometer von Schwarz und das Chromoradiometer von Bordier, eine Modifikation der Sabouraud-

[1]) Prinzip: Verfärbung des Bariumplatincyanürs.

Methode, welches 1910 verbessert wurde. Auch das von Freund erfundene Jodradiometer wurde durch Bordier und Galimard systematisiert. Ein Jahr später entstand das Radiomikrometer von Adams nach Boys.

Die Eigenschaft der Rötgenstrahlen, Gase zu ionisieren, war bereits von Röntgen selbst beobachtet worden; meßtechnisch ausgenutzt wurde sie jedoch erst 1908 von Villard. Ebensoweit gehen auch die Versuche Szilard's zurück. Aber erst 1913 gelang es beiden gemeinsam, ein brauchbares Meßgerät zu bauen, welches von der Firma Reiniger, Gebbert & Schall 1914 als „Iontoquantimeter" herausgebracht wurde. Durch Seitz und Wintz verbessert, stellt es heute eins der gebräuchlichsten Dosimeter dar. Um die gleiche Zeit (1913/14) erschien auch das Selen-Intensimeter von Fürstenau, nachdem bereits 1908 Athanasiades vergeblich versucht hatte, mithilfe der Selenzelle einen Radiometer zu konstruieren.

Die auf der Ionisations-Methode beruhenden Meßinstrumente sind alle neueren Datums. Neben dem Iontoquantimeter (1914) seien hier nur das Ionimeter von Martius und Grebe (1921) und der Siemens-Dosismeter nach Lertes (1922) genannt. — Die ersten exakten Ionisationsmessungen wurden von Friedrich und König ausgeführt.

Es stehen also eine ganze Reihe von Meßgeräten dem Praktiker zur Verfügung; doch schon ihre große Zahl läßt vermuten, daß vielen gewisse Nachteile anhaften. Um nun nach dem heutigen Stande der Röntgentechnik eine richtige Dosierung zu gewährleisten, fragt es sich, welche Anforderungen wir an einen Dosimeter stellen müssen.

Nach Holthusen müssen zunächst folgende physikalischen Vorbedingungen erfüllt sein:

1) Die Meßreaktion muß genügende Feinheit besitzen; d. h. schon kleinste Unterschiede in der Intensität der Strahlung müssen vom Dosimeter angezeigt werden.

2) Die Meßreaktion soll eine große Empfindlichkeit haben. Eine Reaktion ist umso empfindlicher, je kleiner die Strahlenmenge ist, bei der sie in Erscheinung tritt; kleinste Intensitäten und kleinste Bestrahlungszeiten müssen bereits eine deutlich ablesbare Reaktion ergeben.

3) Die Abhängigkeit der Reaktionsstärke von der Intensität muß bekannt sein. Entweder geht die Reaktion der Intensität direkt proportional und wird direkt angezeigt, oder es sind, wenn der Gang verschieden ist, Vergleichsskalen zu ihrer Bestimmung notwendig.

4) Die Reaktion muß zeitlich konstant sein; d. h. ihre Empfindlichkeit darf sich mit der Dauer der Bestrahlung nicht ändern, noch darf ein längeres Aufbewahren den Reagenzkörper in der Konstanz seiner Angaben beeinflussen.

Da eine direkte Energiemessung der Rötgenstrahlen bisher nicht möglich ist, verwendet man in der Praxis bei den gebräuchlichen Dosierungsmethoden eine durch die Röntgenstrahlung hervorgeru-

fene Sekundärwirkung, wie z. B. einen photochemischen Effekt oder die Ionisation der Luft, indem man voraussetzt, daß diese Sekundärwirkung der Intensität der Strahlung proportional ist.

Aber genau so, wie man verschiedenfarbiges Licht oder gar sichtbares und ultraviolettes Licht nicht zueinander in Beziehung setzen kann, so ist auch ein Vergleich von Rötgenstrahlen verschiedener Qualität nicht ohne weiteres möglich; denn die Fähigkeit der Körper, die Strahlen verschiedener Wellenlänge aufzunehmen, sie zu absorbieren und für die Testreaktion zu verwerten, ändert sich von Wellenlänge zu Wellenlänge. Harte Strahlen werden weniger absorbiert als weiche. Da demnach alle Meßgeräte nur einen Bruchteil der Strahlen anzeigen, nämlich diejenigen, die im Reagenzkörper absorbiert wird, so messen wir keine tatsächlichen **Energiewerte,** sondern nur „Schein-Intensitäten". Wir müssen also bei allen diesen Instrumenten, welche nicht die gesamte Energie erfassen, neben der Intensität stets die Absorption der Strahlung messen. Wenn wir nun aber die Schicht des Reagenzkörpers sehr dünn machen, so wird die Aenderung der Intensität, welche durch die Absorption innerhalb der reagierenden Schicht bedingt ist, so klein, daß wir sie vernachlässigen können.

Da ferner beim Gewebe selektive Absorption für den in der Therapie in Anwendung kommenden Wellenbereich nicht auftritt, müssen wir dies ebenfalls für die Messreaktion verlangen.

Wir haben demnach noch folgende Forderungen an ein brauchbares Dosimeter zu stellen:

5) Die Messung muß in einer praktisch so dünnen Schicht erfolgen, daß eine Veränderung der Intensität durch Absorption innerhalb der Schicht nicht berücksichtigt zu werden braucht.

6) Die Absorptionskoeffizienten im Gewebe und im Testkörper müssen sich bei allen in Betracht kommenden Zusammensetzungen der Strahlung proportional der Wellenlänge ändern.

Schließlich sind noch einige allgemein praktische Regeln aufzustellen.

Das Dosimeter muß bequem zu handhaben und die fehlerfreie Durchführung der Messung gesichert sein. Der Praktiker ist größtenteils physikalisch nicht so geschult, daß eine **komplizierte** Meßmethode fehlerlos ausführen könnte; ganz abgesehen davon, daß ein solches Verfahren auch einen großen Aufwand an Arbeit und Zeit erfordert. Von Vorteil ist es außerdem, wenn das Gerät leicht transportabel ist, sodaß man damit an verschiedenen Instituten Messungen vornehmen kann. Eine gewisse Rolle spielt u. U. noch die Kostenfrage; es sind aber viele Dosimeter im Handel, welche nicht sehr teuer sind und trotzdem sichere Angaben liefern.

All diesen Anforderungen werden am ehesten die auf der Ionisationsmethode beruhenden Instrumente gerecht.

Man unterscheidet zwei Methoden der Ionisationsmessung:

1) die elektrometrische und

2) die galvanometrische.

Bei dem elektrometrischen Verfahren wird die Zeit gemessen, welche eine auf eine bestimmte Spannung aufgeladene Elektrode braucht, um sich unter der ionisierenden Wirkung der Röntgenstrahlen zu entladen; die Entladung wird von einem mit der Elektrode verbundenen Elektrometer angezeigt. Im galvanometrischen Verfahren wird direkt der Strom mit einem Galvanometer gemessen, welcher in einem Leiterkreise durch die Ionisation übertragen wird. Bei den meisten Dosimetern der Ionisationsmethode wird das Elektrometerprinzip verwandt.

Um nun stets ein bestimmtes Gasvolumen für die Ionisierung zu garantieren, werden die beiden Elektroden, zwischen denen der Elektrizitätstransport erfolgt, in einer geschlossenen Kammer untergebracht. Es gibt sogen. „große Kammern" und Fingerhutkammern. Bei ersteren handelt es sich um geräumige Kammern, in welche die plattenförmigen Elektroden eingebaut sind; bei letzteren ist die eine Elektrode fingerhutförmig ausgestaltet und bildet gleichzeitig die Kammerwand, während die andere stiftförmig in sie hineinragt; das Volumen beträgt nur einige Kubikzentimeter. Aus praktischen Gründen wird in allen Fällen Luft zur Ionisierung verwandt.

Alle in der Praxis benutzten Dosimeter verwerten zur Messung der Dosis eine physikalische oder chemische Reaktion, welche unter der Einwirkung der Rötgenstrahlen zustande kommt. Da es sich in der Therapie jedoch um Wirkungen am lebenden Gewebe handelt, so wäre es eigentlich naheliegend, die biologische Reaktion als Maß für die Intensität auszuwerten. Wintz wollte deshalb auf die Angaben der physikalisch-chemisch definierten Maßeinheiten verzichten und führte die „Hauteinheitsdosis" in die Therapie ein. Als H. E. D. bezeichnete er diejenige Strahlendosis, welche auf der normalen Haut eines gesunden Menschen acht Tage nach der Bestrahlung eine leichte Rötung (Erythem) und nach ca. 4 Wochen eine leichte Bräunung hervorruft. Es hat sich jedoch gezeigt, daß die Empfindlichkeit der normalen Haut gegenüber Rötgenbestrahlungen Schwankungen unterliegt, welche nach Seitz und Wintz ± 10 bis 15%, nach Krönig und Friedrich ± 10% betragen. Vor allen Dingen aber kann der Begriff „Erythemdosis" nicht scharf genug definiert werden, weshalb die Dosen der einzelnen Röntgeninstitute erheblich differieren. So konnte Grebe und Martius bei Messungen mit einem geeichten Ionimeter feststellen, daß in 14 verschiedenen Instituten bei 27 Röntgenapparaten sich Unterschiede ergaben, welche, auf die Erythemdosis der Bonner Frauenklinik = 100% bezogen, 66—258 ausmachten.

Neben der Beobachtung der Reaktion am Menschen hat man andere biologische Testobjekte für die Dosierung herangezogen. So bestrahlten Jüngling die Keimlinge der Pferdebohne, Holthusen und Perthes Eier des Pferdespulwurmes, welche hierdurch in ihrer Entwicklungsfähigkeit geschädigt wurden.

Alle biologischen Dosierungsverfahren haben aber den Nachteil, daß die Dosis erst nach geraumer Zeit, zum mindesten einige Tage später abzulesen ist.

Neben den **direkten** Dosierungsmethoden, welche die applizierte Strahlenmenge messen oder vor der Bestrahlung die von der Röhre gelieferte Strahlung kontrollieren, ist die gebräuchlichste die **indirekte Dosierung** oder Dosierung **nach der Zeit;** diese beschränkt sich darauf, eine einmal als wirksam erkannte Strahlung durch gleiche Einstellung des Röntgenapparates zu reproduzieren. Auf die durch dies Verfahren bedingten Fehlerquellen kommen wir noch im II. Teil zu sprechen.

Einige Bemerkungen über Standardmessungen und R-Einheit seien noch an dieser Stelle gemacht.

Schon lange hatte man eingesehen, daß es für eine zweckmäßige Strahlentherapie notwendig sei, ein Einheitsmaß der Röntgenstrahlen zu finden. Dies mußte im Interesse der gegenseitigen Verständigung und dem damit verbundenen, weiteren Ausbau der Röntgentherapie gefordert werden. Viele Dosimeter lieferten schon Angaben in gewissen Einheiten; doch waren diese größtenteils willkürlich gewählt. Auf exakten physikalischen Bedingungen waren nur wenige Meßeinheiten aufgebaut. Aber alle wiesen beträchtliche Differenzen auf. Salomon rechnete die von den einzelnen Autoren angegebenen Einheitszahlen zur Erreichung der H. E. D. in „erg." um, wonach sich die Angaben um mehr als das Zehnfache unterschieden. Dies mag zum Teil in dem sehr dehnbaren, weil subjektiven Begriff der H. E. D. begründet liegen, zum Teil in der Verschiedenheit der physikalischen Voraussetzungen.

Die Verwirrungen, welche durch die verschiedenen Dosimeter-Angaben entstanden waren, veranlaßten den Congreß der Deutschen Röntgen-Gesellschaft im Jahre 1923, einen Ausschuß mit der Prüfung der Sachlage und der Aufstellung eines Einheitsmaßes zu betrauen und Küstner den experimentellen Teil zu übertragen.

Für die Standardisierung der Dosimetrie kam nur die Ionisationsmessung in Frage, da nach Angerer zwischen der Luft-Ionisation und der effektiven Röntgenenergie Proportionalität besteht und ferner nach Krönig und Friedrich ein weitgehender Parallelismus zwischen biologischer und physikalischer Dosis bezüglich der Luftionisation vorhanden zu sein scheint.

Endziel der Standardmessung bleibt ja immer die absolute Energiemessung in „erg" oder „gr-kal", die heute noch an experimentellen Schwierigkeiten scheitert.

Der Standard-Ausschuß der D. R. G. wählte nun als Einheit die unter einwandfreien physikalischen Bedingungen von Behnken aufgestellte Röntgen-Einheit, welche folgendermaßen formuliert ist:

„Die absolute Einheit der Rötgenstrahlendosis wird von der Röntgenstrahlen-Energiemenge geliefert, die bei der Bestrahlung von 1 cbcm Luft von 18° C Temperatur u. 760 mm Quecksilber Luftdruck bei voller Ausnutzung der in der Luft gebildeten Elektronen und bei Ausschaltungen von Wandwirkungen eine so starke Leitfähigkeit erzeugt, daß die bei Sättigungsstrom gemessene Elektrizitätsmenge eine elektrostatische Einheit beträgt. Die Einheit wird „1 Röntgen" genannt und mit „R" bezeichnet."

Nicht zu verwechseln ist die Behnken'sche Einheit mit der von Salomon aufgestellten, die dieser ebenfalls mit „R" bezeichnet. Salomon benutzte als Standard die Ionisation durch Radium unter bestimmten Bedingungen.

Die Bestrebungen Küstner's gingen dahin, ein ortsfestes Standardgerät zu bauen, welches allen Anforderungen genügt, und an das jedes andere Meßgerät zum Zwecke der Eichung angeschlossen werden kann. Das Standartgerät bleibt dauernd an der gleichen Stelle ähnlich dem Normal-Meter in Paris. Die „große Kammer" besteht aus Kohle; als Elektrometer wurde das Einfaden-Elektrometer mit Schneiden veränderlichen Abstandes nach Lutz und Quarzfadenaufhängung veränderlicher Spannung nach Wulff benutzt. Die Eichung des Gerätes in R-Einheiten wurde mit einer Siemens-Druckluftkammer nach Art der Behnken'schen vorgenommen.

Interessant sind in diesem Zusammenhang die Messungen der H.E.D., welche von Grebe und Martius mit ihrem transportablen, in „R" geeichneten Ionimeter an verschiedenen Instituten und Apparaten angestellt wurden; sie ergaben Unterschiede des **primären** Energie-Aufwandes, welche zwischen 285 und 1120 R lagen. Da sich ein Mittelwert von 580 R errechnen ließ, schlugen die Autoren als „mittlere Gebrauchs-Erythemdosis" eine Strahlenmenge vor, welche **600 R** entsprechen würde.

II.

Nunmehr gehen wir zu den von uns angestellten Messungen über, welche in einem Vergleich der Angaben des Iontoquantimeters und des Martius-Ionimeters bezügl. der prozentualen Tiefenintensität und der Eichung des Iontoquantimeters in R-Einheiten, sowie einer Festlegung unserer biologisch bekannten H.E.D. in R-Einheiten bestehen sollten.

Gleichzeitig wollten wir untersuchen, mit welcher Genauigkeit sich unter möglichster Ausschaltung aller Fehlerquellen in einem **praktischen** Betriebe zuverlässige Resultate erzielen lassen.

Die äußeren Bedingungen verhielten sich folgendermaßen:

Da wir in geheizten Räumen arbeiteten, so war die Temperatur der Luft fast die gleiche an allen Tagen; durchschnittlich betrug sie 20° C. Als höchster Wert wurde 23° C, als niedrigster 18° C gemessen (s. Tab. 1.) Da die Kammer des Martius-Ionimeters direkt mit dem Wasser des Phantoms in Berührung kommt, und daher die Wassertemperatur von Einfluß auf die Innentemperatur der Kammer ist, brachten wir das Wasser auf ungefähr dieselbe Temperatur, wie sie in der Luft bestand.

Aus der Tab. 1 sind ferner die Schwankungen des Luftdruckes an den einzelnen Meßtagen ersichtlich. Es handelt sich um auf den Meeresspiegel korrigierte Werte des um 7 Uhr abends herrschenden Luftdrucks, die uns in freundlicher Weise von der Rostocker Universitätsluftwarte (Prof. Falkenberg) angegeben wurden.

Tabelle 1.

Schwankungen der Temperatur, des Luftdruckes und der Netzspannung an den verschiedenen Meßtagen.

Datum	Temp. der Luft	Temp. d.Wass.	Luftdr. mm Hg.	Netzspannung Anf.-	E.wert
Okt.					
29	22	21	763,4	240	220
31	23	22	765,4	230	220
Nov.					
2	20	19	762,2	215	225
3	21	20	753,5	235	—
6	22	21	754,9	225	215
7	20	20	746,1	225	—
10	20	20	758,6	225	230
11	20	20	773,3	205	225
13	18	20	764,6	225	—
14	20	19	766,2	240	235
17	19	19	774,2	240	220
20	20	20	767,6	230	225
24	20	20	754,5	220	225
27	18	19	755,1	225	225
Dez.					
1	18	18	754,1	235	215
4	19	19	778,4	230	220
8	19	19	763,2	225	215
15	20	20	762,2	225	215
16	21	20	768,6	225	220

Unsere Messungen wurden in der Zeit von 4—8 Uhr nachmittags vorgenommen.

Nach Grossmann bewirkt nun eine Temperatursteigerung von 2,9° C eine 1%ige Verringerung, eine 1%ige Steigerung des Druckes dagegen eine 1%ige Vermehrung des Meßwertes, d. h. der Sekundendosis. Wir haben eine ganze Reihe von Werten nach der von demselben Verfasser angegebenen Formel auf Normalverhältnisse (760 mm Hg Druck und 18 Grad C) umgerechnet und fanden, daß teilweise dieselben Zahlen der Ablaufzeiten resultierten oder doch nur — auch bei den extremen Temperatur- und Druckverhältnissen — so geringe Unterschiede bestanden, daß sie in den Bereich der Meßfehler fallen, und wir daher von der allgemeinen Umrechnung abgesehen haben, zumal auch bei der Berechnung der normalen Tiefenintensität die Korrektur überflüssig ist.

Plötzliche Schwankungen der Netzspannung waren durchschnittlich nicht vorhanden; im Allgemeinen stand der Zeiger des Voltmeters ziemlich ruhig. Dagegen konnten wir beobachten, daß die verhältnismäßig hohe Anfangsspannung von 230—240 Volt mit zunehmender Netzbelastung (Dreileiter-Stromnetz 440/220 V.) bei Einbruch der Dämmerung stetig abfiel und sich einem niedrigsten Wert von 205—210 V. näherte, um dann bald wieder auf 215—220 V. zu steigen (Tabelle 2.). Ein Vorschaltwiderstand zur Regulierung der Netzspannung war nicht vorhanden.

Tabelle 2.

Kilovoltmeter bzw. Härtemesser in Abhängigkeit von der Netzspannung an den verschiedenen Meßtagen.

S.Sp.K.V.max	Nsp.	HM.	Nsp.	HM.	Nsp.	HM.	Nsp.	HM.	Nsp.	HM.	Nsp.	HM.	Nsp.	HM.
200	205	54	225	49	235	50								
	—	55	—	50	—	51								
	—		—	51	—	52								
	205		225		215									
192	225	47	215	47	230	50	225	48						
	—		—	48	—	51	—	50						
	—		—	49	—		—							
	230		215	50	210		215	49						
190	205	49	225	47										
	—	50	—	45										
	—		—	46										
	225		225											
182	215	142	225	144	225	148								
	—	144	—	146	—	146								
	—		—		—									
	220		225		220									
180	240	144	235	142	225	144	240	144	240	146	230	146	225	146
	—		—		—		220	148	225		—		—	144
	—	*	?	I	—		235		220	*	—	*	—	
	220				225		—		—		210		215	
170	230	140	235	140	225	136	205	142	225	140				
	—		—		—		215	140	—	138				
	—	*	?	I	—		220		—					
	220				215		225		215					
160	215	132	215	132	220	134	215	136						
	—	136	—	135	—	136	—							
	—		—		—		—							
	225		215		225		215							

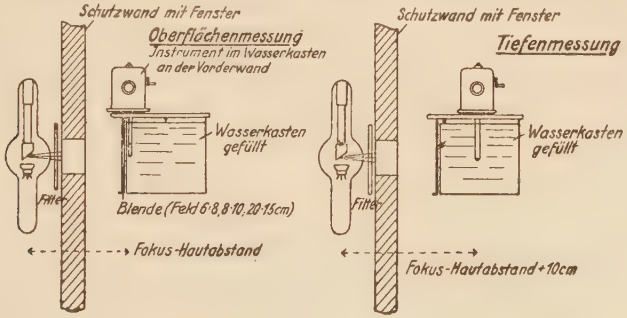
Eine dauernde Kontrolle der Netzspannung war aus technischen Gründen nicht möglich. — Nsp. = Netzspannung. HM. =Kilovoltmeter bzw. Härtemesser. * = Durchschnittswert. I = mit Induktor geheizt.

Zur Messung der sekundären Röhrenspannung benutzten wir eine Kugelfunkenstrecke von 12,5 cm Kugeldurchmesser, die uns von der Firma C. H. F. Müller probeweise zur Verfügung gestellt wurde. Die Funkenstrecke war der Röhre parallel geschaltet unter Vorschaltung je eines Oscilitwiderstandes. Beide Kugeln waren isoliert. Da unser Symmetrieapparat als höchste Leistung eine sekundäre Spannung von 185 K.V. max. bei 4 M. A. aufbrachte — nur bei ganz günstigen primären Stromverhältnissen wurde 190 K. V. erzielt — mußten wir für die höheren Spannungen unseren Neo-Intensiv-Reform-Apparat verwenden; dies entsprach auch den praktischen Bedürfnissen. Durch wiederholte Kontrollen mit der Funkenstrecke während der Messungen kamen wir zu dem Ergebnis, daß bei primären Spannungsänderungen an beiden Apparaten eine Nachregulierung am Schalttisch auf gleiche Skalenteile des Härtemessers beziehungsweise Kilovoltmeters nicht dieselbe Röhrenspannung gewährleistet, wie dies Tabelle 2 zeigt.

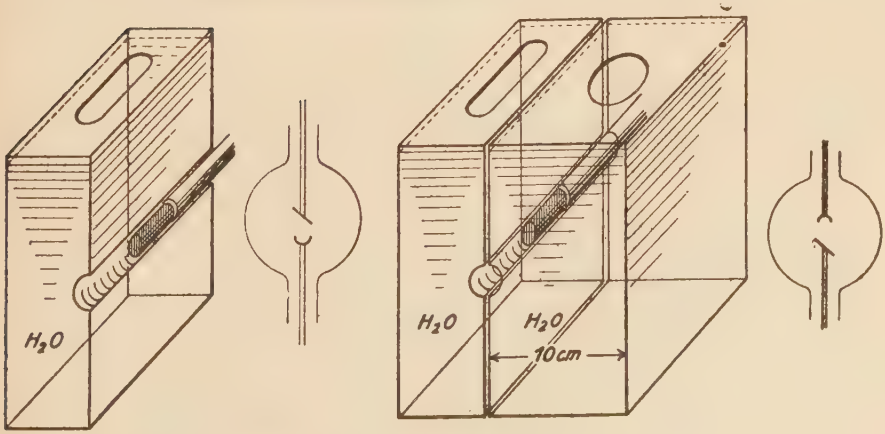
Ueber die Konstruktion der beiden Meßgeräte braucht hier nicht gesprochen zu werden, da sie genügend bekannt sind.

Beide Meßgeräte waren mit einem nach allen drei Dimensionen verstellbaren Röhrenhalter versehen; durch geeignete Peilvorrichtungen war es ermöglicht, die Kammermitte genau in den Zentralstrahl der Röhre zu bringen, wie auch der Abstand der Kammermitte bzw. der Phantomoberfläche vom Röhrenfokus genau auf 50 cm festzulegen.

Wegen der verschiedenen Bauart der Phantome lag bei den Oberflächenmessungen die Kammer des Martius-Ionimeters unmittelbar unter der Wasseroberfläche, während sich am Iontoquantimeter Kammermitte und Phantomoberfläche in einer Ebene befanden. Die Celluloidwände des Martius-Phantoms messen 2 mm Dicke, diejenigen des Iontoquantimeters 3 mm. Vergleichsmessungen am Martius-Ionimeter zeigten die gleichen Ablaufszeiten, wenn die Kammer direkt auf oder unter der Phantomoberfläche lag (Abb. 1).



Martius-Ionimeter **Abb. 1a.**



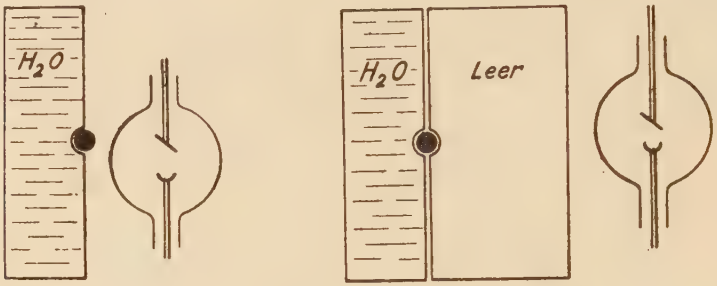
Oberflächenmessung. Tiefenmessung

Iontoquantimeter. **Abb. 1b.**

Tabelle 3.

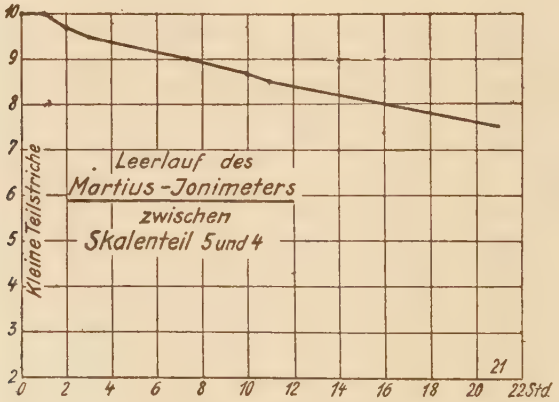
Absorptions-Messungen mit Celluloid am Iontoquantimeter.
Fokus-Kammerabstand a) 50 cm| b) 60 cm.

Art der Messung	Ablaufzeiten in Sekunden							Mittel
a) Oberflächenmessg.	31,0	33,0	33,2	34,0	31,8	30,8	30,0	32,0
Leerer Cel.kast. davor	36,0	37,0	34,8	34,8	33,6	31,4		34,6
b) Oberflächenmessg.	41,6	45,0	41,8	42,6				42,2
Leerer Cel.kast. davor	42,8	41,8	43,6	41,4	43,2			42,6



Zelluloidabsorption (Iontoquantimeter). **Abb. 2.**

Wir haben auch die Absorption der Celluloidwand des Wasserkastens am Iontoquantimeter untersucht. Es wurden einmal in der üblichen Weise einige Oberflächenmessungen ausgeführt, sodann wurde ein leerer Wasserkasten vor die Kammer mit dem rückstreuenden Wasserphantom gestellt und nun gemessen (Abb. 2). Der Un-



Prüfung auf Selbstentladung. **Abb. 3a.**

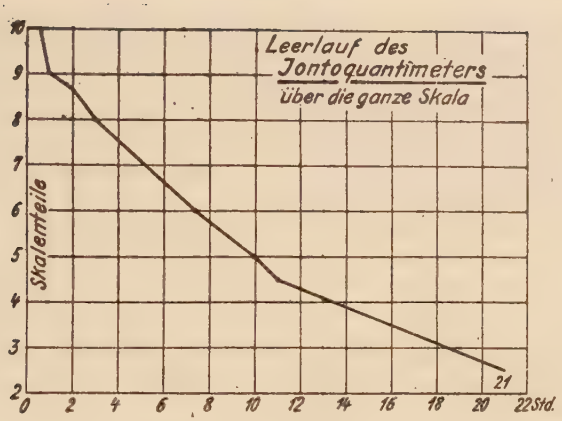


Abb. 3b.

terschied in den Ablaufszeiten war jedoch so gering, daß man ihn als im Bereich der Ablesefehler liegend betrachten muß, und man daher die Absorption durch die zwei je 3 mm dicken Celluloidwände = 0 setzen kann. (Tab. 3.)

Der Forderung Glocker's, das Filter in Mittelstellung anzubringen, konnten wir nur am Iontoquantimeter nachkommen; aus technischen Gründen mußten wir beim Martius-Ionimeter das Filter der Phantomoberfläche etwas nähern, nämlich 28,5 cm vom Röhrenfokus, d. h. 21,5 cm von der Oberfläche entfernt. Es wurde grundsätzlich bei 50 cm Fokusoberflächenabstand gemessen. Vergleichsmessungen am Iontoquantimeter, wo beide Stellungen möglich waren, ergaben Werte, die im Bereich der üblichen Meßfehler lagen, sodaß sich praktisch keine Differenz herausstellte. (s. Tab. 4.)

Tabelle 4.

Vergleichsmessungen bei verschiedenem Filterabstand.

Filter-Oberflächen-Abstand		Ablaufszeiten in Sekunden				Mittelwert
Mittelstellung	= 25 cm	37,0	37,6	38,2	35,0	37,0
	= 21,5 cm	34,2	37,4	35,2	37,0	35,9

Beide Geräte wurden ferner auf Isolations- und Dielektrikumsfehler geprüft, indem sie nach völliger Entladung auf den Anfangsskalenteil aufgeladen und geerdet wurden. Es zeigte sich, wie aus Abb. 3 ersichtlich, daß das Iontoquantimeter im allgemeinen schneller abläuft, daß jedoch innerhalb der ersten Viertelstunde keine Bewegung des Zeigers bzw. des Elektrometerfadens an den Geräten zu bemerken war. Rechnet man den während 21 Stunden beobachteten Ablauf der Geräte auf eine Minute aus, so ergibt sich für das Martius-Ionimeter $^{2}/_{1000}$ eines Teilstriches, für das Iontoquantimeter $^{6}/_{1000}$ eines Skalenteiles. Da die längste Messung etwas über 4 Mi-

nuten dauerte, spielt der Leerlauf also keine Rolle, weil solche Beträge an den Instrumenten nicht ablesbar sind. Auch der Vergleich des Leerlaufes beider Instrumente bei geschlossener Blende unter Hochspannung und Erdung, der eine halbe Stunde fortgesetzt wurde, ergab am Martius-Ionimeter praktisch keine meßbaren Werte, am Iontoquantimeter 3 Skalenteile.

Um die Eigenschwingungen des Zeigers, die am Iontoquantimeter besonders lebhaft beim Aufladen sind, — am Martius-Ionimeter sind sie nicht vorhanden — möglichst auszuschließen, wurden beide Geräte stets weit genug über den Anfangs-Skalenteil hinaus aufgeladen, und es wurde solange mit dem Beginn der Messung gewartet, bis sich der Zeiger vollständig in Ruhe befand. Abgelesen wurde am Iontoquantimeter zwischen dem Anfangs- und Endskalenteil, am Martius-Ionimeter zwischen Skalenteil 5 und 4, da letzteres unter diesen Bedingungen in R-Einheiten geeicht war. Die Ablaufzeiten wurden mit der Stoppuhr festgestellt.

Das Martius-Ionimeter zeigte einen kontinuierlichen Ablauf, während der Zeiger des Iontoquantimeters sich nicht ganz reibungslos bewegte, was sich in einem etwas ungleichmäßigen Ablauf kundtat, trotzdem auf die Horizontalstellung des Gerätes stets peinlich geachtet wurde.

Endlich ist noch zu erwähnen, daß beide Geräte von Zeit zu Zeit auf Empfindlichkeits-Konstanz mittels Radiumpräparat (26,19 mg) geprüft wurden. Die Jahresdurchschnittswerte gehen aus Tabelle 5 hervor. Am Iontoquantimeter zeigte sich in den Jahren 1923/24 keine nennenswerte Differenz; 1925 waren sie durchweg etwas erhöht. (Tab. 5.)

Tabelle 5.

Empfindlichkeitskonstanzprüfung mit Radium.
(Rad. El., 26,19 mg).

	Iontoquantimeter	Martius-Ionimeter
1923	2' 19,4"	
1924	2' 20,8"	
1925	3' 15,5"	3' 41"

Gemessen wurden die Oberflächen-Intensität und die Intensität in 10 cm Tiefe des Wasserphantoms für die Feldgrößen 6×8, 10×15 und 15×20 cm je bei sekundären Spannungen von 160, 170, 180, 190 und 200 K. V. max., woraus die jeweilige prozentuale Tiefenintensität errechnet wurde. Wir gebrauchen hier den Ausdruck „Proz. Tiefen**intensität**", da im Allgemeinen der Begriff der „Proz. Tiefen**dosis**" an bestimmte Bedingungen bzw. Feldgröße (6×8) und F. H. (23 cm) gebunden ist.

Um die Ergebnisse im praktischen Betriebe verwerten zu können, wählten wir alle Bedingungen so, wie sie bisher üblich waren.

Für die Spannung von 160, 170 und 180 K. V. wurde ein Metro-

Rohr benutzt; als Filter wurde 0,5 Zink + 1 Al. verwendet. Für 190 und 200 K. V. benutzten wir ein Groß-Metro-Rohr und ein Filter von 1,0 Zn. + 1 Al. Die Röhrenbelastung war stets 4 M.-A. Das Antikathoden-Material bestand aus Wolfram.

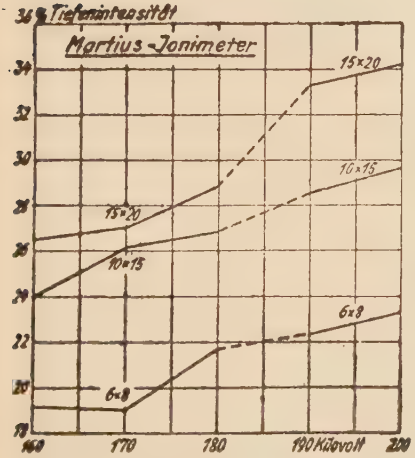
Da wir nebenbei eine Neu-Eichung des Neo-Intensiv-Reform-Apparates anstrebten, nahmen wir qualitative Messungen mit verschiedenen Filtern bei einer sekundären Spannung von 190 K. V. max. vor, die zeigten, daß die günstigste prozentuale Tiefenintensität bei einer Filterung von 1 Zn. + 1 Al. erreicht wird. (s. Tab. 6.)

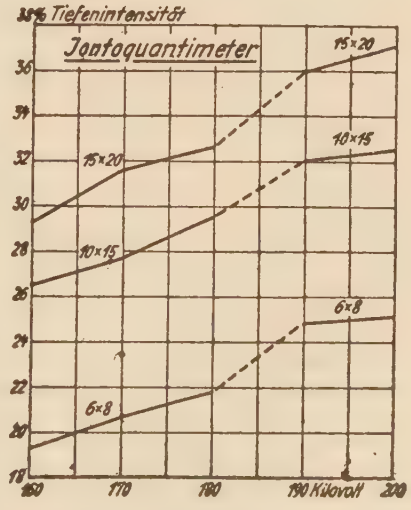
Tabelle 6.

Auswahl des Filters für eine sek. Spannung von 190—192 K.V. bei 4 M. A., gemessen am Martius-Ionimeter mit Blende 6×8 cm.

Filterung:	0,5 Zn + 1 Al	1 Zn + 1 Al	0,5 Zn + 4 Al
Oberflächenablaufszeit:	13,1 "	19,8 "	16,7 "
Ablaufszeit in 10 cm Tiefe	63,0 "	92,7 "	81,9 "
Proz. Tiefenintensität:	20,8%	21,4%	20,4%

Wir wählten daher für 190 und 200 K. V. diese Filterung. Es muß hervorgehoben werden, daß die benutzten Filter natürlich nicht für alle gemessenen Röhrenspannungen günstig sind; da es jedoch nur auf einen Vergleich der beiden Meßgeräte ankam, konnten wir davon absehen, für jede Spannung die günstigste Filterung ausfindig zu machen.





Prozentuale Tiefenintensitäten in Abhängigkeit von der Spannung und der Feldgröße

Abb. 4a. **Abb. 4b.**

Tabelle 7.
Prozentuale Tiefenintensität.
a. Martius-Ionimeter.

Sek. Spannung.	6×8	10×15	15×20
200 K. V.	23,3	29,6	34,1
190 K. V.	22,3	28,5	32,3
180 K. V.	21,7	26,8	28,8
170 K. V.	19,0	26,1	27,0
160 K. V.	19,2	23,9	26,6

b. Iontoquantimeter.

Sek. Spannung.	6×8	10×15	15×20
200 K. V.	25,1	32,5	37,1
190 K. V.	24,8	32,0	36,0
180 K. V.	21,7	29,5	32,6
170 K. V.	20,7	27,7	31,5
160 K. V.	19,5	26,5	29,5

Zur Heizung der Glühkathode wurde Induktorstrom nur versuchsweise angewandt; er zeigte sich zu sehr abhängig von den primären Spannungsschwankungen. Um die Konstanz des Heizstroms zu gewährleisten, heizen wir im Uebrigen **immer** mit Akkumulatorenstrom.

Die Ausblendung der Feldgröße geschah am Ionimeter-Martius durch Bleiblenden, die, mit entsprechendem Ausschnitt versehen, der Phantomoberfläche direkt auflagen; am Iontoquantimeter wurden durch Verschieben einer Bleiblende die entsprechenden Felder in quadratischer Form auf der Oberfläche erzeugt und mit dem Kryptosskop ausgemessen. Die durch diese Methode bedingte, etwas unscharfe Begrenzung des Strahlenkegels ruft jedoch nur eine so minimale Aenderung der Streustrahlung hervor, daß sie nicht ins Gewicht fällt.

Wir konnten nun feststellen, daß das Iontoquantimeter fast immer größere prozentuale Tiefenintensitäten angibt als das Martius-Ionimeter. Da einige Messungen nicht die zu erwartenden Werte lieferten, mußten noch mehrere Kontrollmessungen angestellt und die Resultate entsprechend korrigiert werden; so ergaben sich die in Tabelle 7 und Abb. 4 aufgezeichneten Werte.

Von Interesse sind im Zusammenhang mit unseren Messungen neuere Untersuchungen von Chantraine und Marum, die in einem Vergleich des Iontoquantimeters mit dem Siemens-Dosimesser bestanden. Es heißt da, daß bisher am Symmetrie-Apparat eine prozentuale Tiefendosis von 18% gemessen wurde, während der Siemens-Dosismesser 30% anzeigte. Die Verfasser glauben, die Ursache für diese Differenz in den verschiedenen Phantomabmessungen, in der verschiedenen Lage der Kammer zur Phantomoberfläche und in einer falschen Eichkurve des Siemensgerätes gefunden zu haben. Letzteres dürfte wohl den Ausschlag geben. Uns interessiert besonders noch die Bemerkung, daß die prozentualen Tiefendosen,

welche Grebe und Martius mit ihrem transportablen Ionimeter an demselben Röntgen-Apparat gemessen haben, ganz in der Nähe der vom Iontoquantimeter angezeigten Werte gelegen hätten.

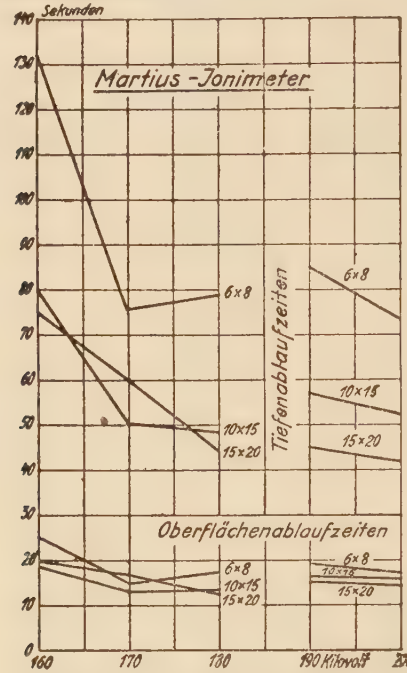
Tabelle 8.

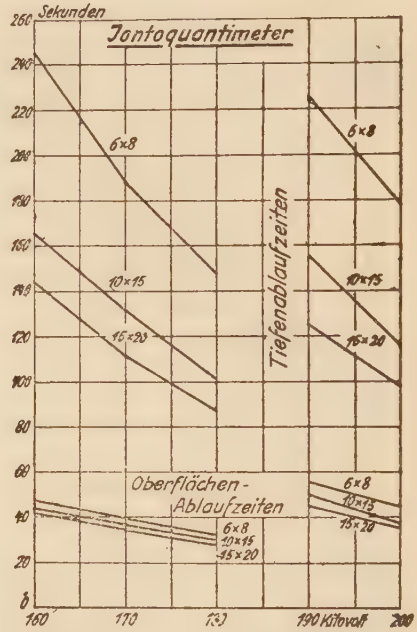
Verhältnis der Ablaufszeiten und der prozentualen Tiefenintensitäten.

Sek. Sp.K.V max.	Feld-größe	Oberfl.Abl.Z. in Sekunden		Abl.-Zeiten in 10 cm Tiefe		Verh.-Zahlen d. Abl.-Zeiten		Proz. Tiefen-intensität		V.zahl d.proz. T.int.
		Iontq.	M-Ion.	Iontq.	M-Ion.	Oberfl.	10cmT	Iontq.	M-Ion.	
200	6×8	44,6	17,1	177,8	73,3	2,61	2,43	25,1	23,3	1,07
	10×15	37,7	15,4	116,1	52,1	2,45	2,23	32,5	29,6	1,09
	15×20	36,3	14,1	98,0	41,4	2,57	2,37	37,1	34,1	1,09
190	6×8	55,7	19,0	225,0	85,2	2,93	2,64	24,8	22,3	1,11
	10×15	49,8	16,2	155,6	56,9	3,07	2,74	32,0	28,5	1,10
	15×20	44,9	14,9	124,7	44,7	3,01	2,79	36,0	33,3	1,08
180	6×8	32,2	17,2	148,2	79,1	1,87	1,87	21,7	21,7	1,00
	10×15	29,8	13,0	101,1	48,4	2,29	2,09	29,5	26,8	1,10
	15×20	28,4	12,6	87,0	43,7	2,25	1,99	32,6	28,8	1,13
170	6×8	38,6	14,4	188,4	75,6	2,68	2,49	20,7	19,0	1,05
	10×15	36,3	13,2	131,2	50,5	2,75	2,60	27,7	26,1	1,06
	15×20	35,1	16,3	111,3	60,3	2,15	1,85	31,5	27,0	1,16
160	6×8	47,3	25,3	246.2	131,8	1,87	1,86	19.3	19,2	1,00
	10×15	43,9	19,1	165,8	79,8	2,30	2,08	26,5	23,9	1,11
	15×20	42,1	20,0	144,1	75,1	2,11	1,92	29,2	26,6	1,10

Um uns nun ein Bild über die Ursache der Inkongruenz der Angaben unserer Geräte bzw. der prozentualen Tiefen-Intensität machen zu können, haben wir die Ablaufszeiten des Iontoquantimeters durch die entsprechenden Werte des Martius-Ionimeters dividiert. Wir brachten also die Ablaufszeiten beider Geräte in ein bestimmtes Verhältnis, indem wir die Ablaufszeiten des Martius-Ionimeters gleich 1 setzten — vorausgesetzt die Exaktheit und Konstanz der Angaben des Martius-Ionimeters — und erhielten so die in Tabelle 8 eingetragenen Verhältniszahlen für die Oberflächen- und für die Tiefenablaufszeiten. Es stellte sich jedoch heraus, daß die Verhältniszahlen der Oberflächenablaufszeiten durchweg größer sind als die entsprechenden der Tiefenablaufszeiten. Das würde entweder bedeuten, daß die Oberflächenablaufszeit des Iontoquantimeters gegenüber derjenigen des Martius-Ionimeters durch irgendeinen Einfluß verhältnismäßig verlängert ist, oder, daß umgekehrt die Tiefenablaufszeit des Iontoquantimeters vermindert ist. In beiden Fällen würde die Verhältniszahl für den Oberflächenablauf größer sein als für den Tiefenablauf. Außerdem veranschaulicht uns diese Differenz der Verhältniszahlen aber auch den Unterschied in den prozentualen Tiefenintensitäten der beiden Geräte, da eine längere Oberflächenablaufszeit, ebenso wie im andern Falle eine kürzere Tiefenablaufszeit eine Vermehrung der prozentualen Tiefenintensität bedingte. In der letzten Spalte der Tabelle 8 sind ferner die Verhältniszahlen eingetragen, welche sich

durch Division der entsprechenden Werte der prozentualen Tiefenintensitäten beider Geräte errechneten. Abb. 5 zeigt die Kurven der Ablaufszeiten.





Oberflächen- und Tiefenablaufszeiten in Abhängigkeit von der Spannung und der Feldgröße.

Abb. 5a. **Abb. 5b.**

Wie nun die Differenzen der prozentualen Tiefenintensitäten und die damit verschiedenen Verhältniszahlen der Ablaufszeiten zustandekommen, haben wir uns folgendermaßen zu erklären versucht:

Bekanntlich ist der Streustrahlenzusatz in der Tiefe immer größer als an der Oberfläche; es ist daher anzunehmen, daß die prozentische Beteiligung der Streustrahlung an dem Zustandekommen der Ionisation in den beiden Kammern verschieden ist, an der Oberfläche und in der Tiefe. Die Kammerwand des Iontoquantimeters besteht aus graphitiertem Papier, während diejenige des Martius-Ionimeters aus Aluminium hergestellt ist. Die Kammer des Iontoquantimeters ist außerdem bedeutend größer als die Martius-Kammer.

Da der Wandwirkungsbeitrag bei Kammermaterial niedriger Ordnungszahlen geringer ist als bei hochatomigem Material und da ferner die Streustrahlung zum Teil etwas langwelliger ist als die Primärstrahlung, so könnte dies in der Tiefe im Vergleich zur Oberfläche eine verschieden starke Ionisation in den beiden Kammern be-

dingen. Diese Differenz, die sich aus der teilweise geänderten Qualität der Streustrahlen ergibt, ist vermutlich sehr gering. — Das Gleiche dürfte auch wohl vom Wandwirkungsausfall zu sagen sein, der bekanntlich mit wachsendem Kammervolumen kleiner wird.

Besondere Beachtung verdienen jedoch folgende Untersuchungen von anderer Seite. Grossmann konstruierte eine sehr kleine Kugelionisationskammer, um die Dosis möglichst in einem Punkte zu erfassen, und fand, daß die von ihm mit der Kugelionisationskammer von 2 cm Durchmesser erzielten Werte der prozentualen Tiefendosis etwas zu hoch liegen gegenüber den mit der kleineren von 1 cm Durchmesser erhaltenen Werten. Dasselbe dürfte in verstärktem Maße bei unseren Messungen zutreffen.

Wie groß nun der jeweilige Anteil der einzelnen Komponenten ist, welche für die Differenz verantwortlich zu machen sind, soll hier nicht weiter untersucht werden, da solche Messungen nicht mit der nötigen Exaktheit in einem praktischen Betriebe durchzuführen sind.

Die Kurven der prozentualen Tiefenintensitäten in Abb 4 weisen teilweise einen Gang auf, der nicht ganz gleichsinnig ist. Trotz wiederholter Kontrollmessungen wurden dieselben Werte gefunden, sodaß der Grund in Meßfehlern nicht zu suchen ist.

Nach diesen vergleichenden Messungen nahmen wir die Eichung des Iontoquantimeters vor. Der Eichschein des Martius-Ionimeters besagt, daß der Ablauf des Instruments von Skalenteil 5—4 bei einer Strahlung von:

1) 192 K. V., 4 M. A.; 1,0 Zn + 1,0 Al-Filter
einer Ionisation von **2,14 R;**

Tabelle 9.

Eichmessungen.

a) 192 Kilovolt max. 4 M. A., 1 Zn + 1 Al., 50 cm F. H.

Art der Messung	Feld-größe	Ablaufszeiten Iontq.	Mart.	Verhlt. Zahl
Bei freistehend. Kammer	6×8	54,7	23,2	2,36
Bei freistehend. Kammer	offen	53,3	21,6	2,47
Oberfl. m. Streukörper	6×8	44,3	18,4	2,41
Oberfl. m. Streukörper	offen	40,2	15,4	2,61
Messung in 10 cm Tiefe	6×8	203,4	98,8	2,06
Messung in 10 cm Tiefe	offen	123,9	51,7	2,40

b) 182 Kilovolt max., 4 M. A., 0,5 Zn + 1 Al., 50 cm F. H.

Art der Messung	Feld-größe	Ablaufszeiten Iontq.	Mart.	Verhlt. Zahl
Bei freistehend. Kammer	6×8	32,7	16,8	1,95
Bei freistehend. Kammer	offen	32,0	15,7	2,04
Oberfl. m. Streukörper	6×8	30,5	14,2	2,10
Oberfl. m. Streukörper	offen	24,1	12,2	1,98
Messung in 10 cm Tiefe	6×8	209,2	73,4	2,85
Messung in 10 cm Tiefe	offen	124,5	38,5	3,23

2) 182 K. V., 4 M. A.; 0,5 Zn + 1,0 Al-Filter
einer Ionisation von **1,91 R**
entspricht, wobei die Kammer an der Außenseite des **leeren** Wasserkastens mit Blende 6×8 zu stehen hat.

Bei den Eichmessungen wurde noch mehr als bisher auf größte Konstanz des Betriebes geachtet, im Uebrigen aber in der üblichen Weise verfahren.

Außer den im Eichschein des Martius-Ionimeters angegebenen Messungen wurde noch ohne Blende, also ganz offen gemessen und ferner das Verhältnis der Oberflächen- und Tiefenablaufszeiten unter den gleichen Bedingungen verglichen. (s. Tabelle 9.)

Wie aus den Verhältniszahlen dieser Tabellen hervorgeht, gebraucht das Iontoquantimeter unter den erwähnten Eichbedingungen bei 192 K. V. zum Ablauf über die ganze Skala 2,36 mal so lange Zeit als das Martius-Ionimeter; bei 182 K. V. dagegen die 1,95fache Zeit. (Die in Tabelle 9 eingetragenen Werte der Ablaufszeiten sind selbstverständlich Mittelwerte einer größeren Meßreihe).

Demnach entspricht der Ablauf des Iontoquantimeters über die ganze Skala bei einer Strahlung von:
1) 192 K. V., 4 M. A.; 1,0 Zn + 1,0 Al-Filter
einer Ionisation von **5,05 R;**
2) 182 K. V., 4 M. A.; 0,5 Zn + 1,0 Al-Filter
einer Ionisation von **3,73 R.**
In beiden Fällen gemessen bei **freistehender** Kammer und einer Feldgröße von 6×8 cm.

Zum Schluß bleibt noch übrig, unsere biologisch bekannte H.E.D. gemäß der Aenderung unserer Betriebsbedingungen am Symmetrieapparat seit dem 1. X. 1924 in R-Einheiten zu bestimmen. Wir fanden, daß unter den erwähnten Eichbedingungen des Martius-Ionimeters am Symmetrieapparat mit 182 K. V., 4 M A. und 0,5 Zn + 1 Al-Filterung bei einem Fokuskammerabstand von 50 cm eine Ionisation von 1,91 R in 17,1 Sekunden erreicht war. (Die Zahl 17,1 stellt einen Mittelwert aus einer Reihe bereits früher ausgeführter Messungen dar.) Auf eine Minute umgerechnet, ergibt sich demnach eine Ionisation von $\frac{1,91}{17,1} \times 60 = 6,7$ R.

Hieraus wurden auf Grund unserer festgelegten Bestrahlungszeiten, die aus der Tabelle 10 ersichtlichen Werte in R-Einheiten an primär eingestrahlter Energie für die von uns verwandten Felder und Fokushautabstände nach dem Quadratgesetz berechnet. Wir fanden so die Durchschnittszahl von **473 R.**

Wenn wir wie Grebe und Martius die Ablaufszeit bei freistehender Kammer mit t und die an der Wasseroberfläche gemessene Ablaufszeit mit t_1 bezeichnen, so sind die entsprechenden Strahlenintensitäten den Größen $^1/t$ und $^1/t_1$ proportional. Ihre Differenz würde den Betrag der Rückstreuung bedeuten, den wir der primären Strahlenintensität hinzurechnen müßten. Die durch Streustrah-

Tabelle 10.

Bestrahlungszeiten und deren korrigierte Werte (am Stativ).
192 K. V., 4 M. A. und 0,5 Zn + 1 Al. (Symmetrie).

F. H.	Feld	cm²	Bestrahl.-Zeiten	in R-Einheiten	Korrigierte Werte Zeiten	R-Einh.
23 cm	6×8	48	16'	526,35	15'	495
30 cm	6×8	48	27'	506,52	—	—
30 cm	10×15	150	27'	506,52	—	—
30 cm	18⌀	301	21'	393,96	27'	506
40 cm	26⌀	539	44'	459,88	48'	500,6
50 cm	32⌀	844	67'	448,9	73'	489,1
Mittelwert:				473 R		500 R

lung bedingte Zunahme der Oberflächenintensität beträgt demnach in Prozenten der primären Energie ausgedrückt:

$(^1/t_1 - {}^1/t) : {}^1/t = x : 100$

$(^1/t_1 - {}^1/t) \cdot 100 = x \; {}^1/t$

oder $x = (^t/t_1 - 1) \cdot 100.$

Hieraus ergibt sich für unsere Messung bei Fokushautabstand von 50 cm und 182 K. V., 4 M. A. und 0,5 Zn + 1 Al-Filter ein Streustrahlenzusatz, in Prozenten der primären Energie ausgedrückt, von:

Feld	Streusatz in % der Primärstrahlung
6×8	18,3 %
15×20	28,7%

Wir erhielten demnach wesentlich niedrigere Werte für den prozentualen Streuzusatz, als sie von Martius und Grebe angegeben sind, während wir zur Erreichung der H. E. D. bei allen benutzten Feldgrößen und Fokushautabständen im Durchschnitt an primär eingestrahlter Energie **ca. 500 R** aufwandten (genau 473 R, wie aus Tabelle 10 hervorgeht.) Addieren wir dazu für eine Feldgröße von 15×20 cm rund 30% Rückstreuung, so bekommen wir **650 R** als „mittlere Hauterythemdosis".

Da wir in der überwiegenden Mehrzahl unserer Bestrahlungen bei der Applikation von rund 500 R eine unseren Begriffen entsprechend kräftige Hautreaktion auftreten sahen, konnten wir uns noch nicht entschließen, bis auf **600 R** primärer Energie heraufzugehen, wie dies von Martius und Grebe als „mittlere Gebrauchserythemdosis" vorgeschlagen wird.

Für die erforderliche Neueichung unseres Neo-Intensiv-Reform-Apparates, wie sie durch die Anwendung der neuen Betriebsspannung von 192 K. V. unter Filterung von 1,0 Zn + 1,0 Al bei 4 M. A. Röhrenbelastung bedingt war, ergaben sich uns die in Tab. 11 verzeichneten Bestrahlungszeiten bei Ein- bzw. Zwei-Röhrenbetrieb unter Berücksichtigung der in Anwendung kommenden Felder, wenn wir auch hier von einer primären Strahlenenergie von 500 R ausgehen.

Tabelle 11.

Bestrahlungszeiten am Neo-Intensiv-Reform.
192 K. V., 4 M. A. und 1,0 Zn + 1,0 Al.

Einröhrenbetrieb				Zweiröhrenbetrieb			
F. H.	Feld	Feldgröße in qcm	Bestrahl.-Zeiten	F. H.	Feld	Feldgröße in qcm	Bestrahl.-Zeiten
23	6×8	48	19'	23	6×8	48	27'
30	6×8	48	32'	30	6×8	48	46'
30	10×15	150	32'	30	10×15	150	46'
	18⌀	301			18⌀	301	
30	13,5×13,5	182	32'	30	13,5×13,5	182	46'
40	18×18	324	57'	40	18×18	324	81'
50	22,5×22,5	506	90'	50	22,5×22,5	506	128'

Abb. 6.

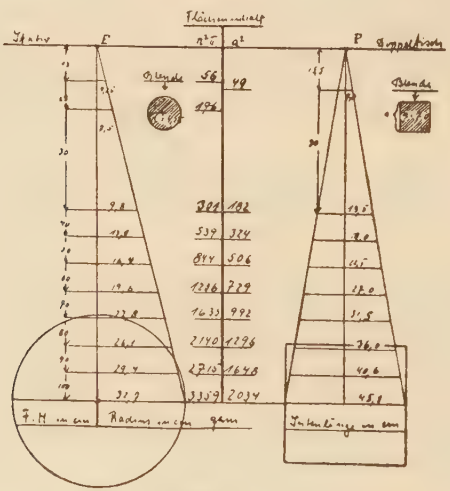


Abb. 6.

Die laut Eichschein des Martius-Ionimeters transportierten Einheiten von 2,14 R waren bei Einröhrenbetrieb unter den vorerwähnten Bedingungen in 23,2 Sekunden erreicht (s. Tab. 9). Dem entspricht in einer Minute eine Ionisation von $\frac{23,2}{2,14} 60 = \mathbf{5,53}$ **R**-Einheiten. Hieraus wurden die neuen Bestrahlungszeiten für die einzelnen Fokushautabstände nach dem Quadratgesetz berechnet. Gegenüber dem Einröhrenbetrieb verhielten sich die Ablaufszeiten beim Zwei-Röhrenbetrieb stets wie 1 : 1,43. Die Tiefenintensitäten blieben, wie nicht anders zu erwarten, stets unverändert. Die Bestrahlungszeiten errechneten sich daher in einfacher Weise auch für den Zwei-Röhrenbetrieb durch Multiplikation mit 1,43 (s. Tab. 11.).

Am Stativ (Reiniger) wird die Ausblendung der Felder unter 300 qcm durch vorgesetzte Tubusse (10×15 und 6×8) bewirkt, bei größeren Feldern durch die im Stativ selbst befindliche Blende (s. Abb. 6). An dem von Lehmann angegebenen Doppeltisch für Zwei-Röhrenbetrieb am Neo-Intensiv-Reform-Apparat werden die Felder durch eine im Röhrenkasten befindliche quadratische Blende begrenzt. Die Feldgrößen für die verschiedenen Fokus-Hautabstände werden durch die Abb. 6 veranschaulicht.

Wenn wir auch hier wie oben bei 182 K. V. die Rückstreuung in Prozenten der primären Energie ausdrücken, so erhalten wir für 192 K. V., 4 M. A. und 1,0 Zn + 1,0 Al-Filter bei F. H. = 50 cm:

Feld	Streuzusatz in % der Primärstrahlung
6×8	26%
15×20	41%

Auch hier ergeben sich wesentlich niedrigere Werte, als sie von Martius und Grebe angegeben werden.

Mit den in Tab. 10 vorgenommenen Korrekturen und mit den in Tab. 11 festgestellten Bestrahlungszeiten haben wir unseren Betrieb normalisiert auf einen primären Energieaufwand von **500 R-Einheiten** für jeden Abstand und jede von uns verwandte Feldgröße, d. h. wir lassen die durch die Aenderung der Feldgröße bedingte Aenderung der Streustrahlung unberücksichtigt.

Zusammenfassung.

1). Die Reproduzierung einer Strahlung durch Einregulierung auf gleiche Skalenteile am Schalttisch ist bei unseren üblichen Netzspannungsschwankungen nicht vollauf gewährleistet. Es wurden Schwankungen der Netzspannung bis zu ± 10,5% bezogen auf 220 Volt als Normalspannung, beobachtet. Dem entsprechen am Symmetrieapparat im Höchstfalle Schwankungen des Härtemessers von 4,3%, am Intensiv-Reform Schwankungen bis höchstens 11,8%, bezogen auf Mittelwerte der Zeigerstellung. — Am Symmetrieapparat wurden bei Veränderung des Härtemessers um 4 Skalenteile Unterschiede der Sekundärspannung von durchschnittlich 10 K. V. gemessen, also bei höchstens ± 4 Skalenteile (s. Tab. 2) ± 6,2% Schwankungen der sekundären Spannung für 160 K. V.; ± 5,5% für 182 K. V.

Am Neo-Intensiv-Reform-Apparat sind Schwankungen der Röhrenspannung von ± 5% im Höchstfalle beobachtet worden, ± 3,5% für 192 K. V.

Wir haben daher in unserem Betriebe für die von uns angewandten Röhrenspannungen von 192 bzw. 182 K. V. mit Schwankungen von ± 3,5 bzw. ± 5,5% zu rechnen. Dem würde im ungünstigsten Falle eine Aenderung der prozentualen Tiefenintensität von etwa

± einer Prozent**zahl** entsprechen; **absolut** genommen, von etwa ± 5% der prozentualen Tiefenintensität.

2). Das Iontoquantimeter zeigt gegenüber dem Martius-Ionimeter relativ höhere Werte der prozentualen Tiefenintensität an, was auf die Verschiedenartigkeit der Kammern in Bezug auf ihre Größe und ihr Wandmaterial zurückzuführen sein wird.

3.) Die Eichung des Iontoquantimeters nach dem geeichten Martius-Ionimeter ergab für den Ablauf des Gerätes über die ganze Skala bei einer Strahlung von 192 K. V., 4 M. A. und 1 Zn + 1 Al-Filter eine Ionisation von **5,05 R;** bei einer Strahlung von 182 K. V., 4 M. A. und 0,5 Zn + 1 Al-Filter eine Ionisation von **3,73 R.** In beiden Fällen bei einer Feldgröße von 6×8 cm und bei freistehender Kammer gemessen.

4). Die Umrechnung unserer biologisch bekannten H. E. D. in R-Einheiten der primär aufgewandten Energie ergab **500 R.** Dieser Wert soll beibehalten werden, da hierbei eine genügend kräftige Hautreaktion erzielt wird. Es wurden alle von uns angewandten Bestrahlungszeiten bei den entsprechenden Fokushautabständen ohne Berücksichtigung der Verschiedenheit der durch Aenderung der Feldgröße bedingten Rückstreuung auf **500 R** primär eingestrahlter Energie korrigiert.

5). Die von uns gemessenen Rückstreuungen waren, in Prozenten der primären Energie ausgedrückt, **wesentlich** geringer als die von Martius und Grebe angegebenen. Diese Frage soll noch weiter untersucht werden.

Zum Schlusse möchte ich nicht versäumen, Herrn Prof Dr. Lehmann für die Anregungen und die Ueberlassung des Instrumentariums, sowie Herrn Dr. Breitländer für die freundliche Unterstützung und Mitarbeit an dieser Stelle meinen Dank auszusprechen.

Literatur-Verzeichnis.

1. Bécléré, Vereinheitlichung der Dosimetrie. (Strahlentherapie XXI, 3.)
2. Chantraine und Marum, Gleichspanungsmaschine und Siemensmeßgerät. (Strahlentherapie XIX, S. 339. 1925).
3. Glasser, Erythemdosis in R-Einheiten. (Strahlentherapie XX; 1.)
4. G. Grossmann, Physikalische und technische Grundlagen der Röntgentherapie. (IX. Sonderband zu „Strahlentherapie". 1925.)
5. Grebe und Martius, Vergleichende Messungen über die Größe der zur Erreichung des Hautervthems gebräuchlichen Strahlenmengen. (Strahlentherapie XVIII, S. 395. 1924.)
6. Grebe und Martius, Ueber Röntgenstrahlenmessung in absolutem Maß und die zur Erreichung des Hauterythems nötige Röntgenstrahlenmenge. (Strahlentherapie XX, S. 128. 1925.)
7. Heidenhain, Das Problem der Röntgendosis. (Strahlentherapie XXI, 1.)
8. den Hoed und Koopmann, Bleibt die Röntgenenergie konstant bei variabler Netzspannung und Nachregulierung am Apparat. (Strahlentherapie XX, S. 162. 1925.)
9. H. Holthusen, Ueber die Beziehungen zwischen physikalischer und biologischer Dosimetrie. (Strahlentherapie XVII, S. 49. 1924.)
10. H. Holthusen, Physik der Röntgenstrahlen. — Die qualitative und quantitative Messung der Röntgenstrahlen. (Meyer, Lehrbuch der Strahlentherapie 1. 1925.)
11. H. Holthusen, Zur Auswahl des Einheitsmaßes in der Dosimetrie. (Strahlentherapie XIX, S. 185. 1925.)
12. G. Holzknecht, Die geschichtliche Entwicklung der Strahlenbehandlung und ihre Bedeutung für die Heilkunde. (Meyer, Lehrbuch der Strahlentherapie I. 1925.)
13. R. Kienböck, Ueber das Quantimeter. (Strahlentherapie I, S. 68. 1912.)
14. H. Küstner, Die Standardisierung der Röntgendosismessung. (Strahlentherapie XVII, S. 1. 1924.)
15. H. Küstner, Die Ionisationsmessung der Röntgenstrahlen. (Ergebnisse der medizin. Strahlenforschung I. 1925.)

16. H. Martius, Ueber Röntgenstrahlenmessung im Tiefentherapiebetrieb. (Strahlentherapie XVI, S. 277. 1923.)
17. F. M. Meyer, Das Fürstenau'sche Intensimeter. (Strahlentherapie VII, S. 473. 1916.)
18. Seitz und Wintz, Unsere Methode der Röntgentiefentherapie und ihre Erfolge. (V. Sonderband zu „Strahlentherapie". 1920.)
19. B. Szilard, Ueber die absulute Messung der Röntgen- und γ-Strahlen in der Biologie. (Strahlentherapie V, S. 742. 1915.)
20. Fr. Voltz, Die physikalischen und technischen Grundlagen der Messung und Dosierung der Röntgenstrahlen. (VI. Sonderband zu „Strahlentherapie". 1921.)
21. J. Wetterer, Handbuch der Röntgentherapie I. 1913/14.

Lebenslauf.

Karl Eduard Janssen,
geboren 21. Juli 1902 zu Bremen.
Sohn des Kaufmanns Gustav Janssen.

Von Ostern 1909 bis Ostern 1912 besuchte ich die Vorschule von A. Hartung in Bremen. Zu Ostern 1912 wurde ich in die Sexta des alten Gymnasiums zu Bremen aufgenommen, welches ich am 4. März 1921 mit dem Zeugnis der Reife verließ, um mich dem Studium der Medizin zu widmen.

Erstmalig wurde ich im Sommersemester 1921 an der Universität in Erlangen immatrikuliert. Nach 5 Semestern vorklinischen Studiums legte ich daselbst am Ende des Sommersemesters 1923 die ärztliche Vorprüfung ab.

Mein Studium setzte ich im folgenden Wintersemester 1923/24 in Hamburg fort. Im Sommersemester 1924 war ich in Rostock immatrikuliert, studierte im Wintersemester 1924/25 in München und kam im Sommersemester 1925 nach Rostock zurück.

Nach 5 Semestern klinischen Studiums begann ich im März 1926 mit der Ablegung der ärztlichen Prüfung vor der Prüfungskommission in Rostock, welche ich am 15. 6. 1926 vollständig bestanden habe.